

(仮訳)

## 構想概要

今世紀の人類は、持続可能なエネルギーのある未来を実現させるという大きな課題に直面している。エネルギーの持続可能性の概念とは、将来のエネルギー需要に対し十分なエネルギーの安定的供給の確保が急務であるということに留まらず、(a) 過酷な気候変動の回避を含む自然界の本質的秩序の保全、(b) 近代型エネルギー利用に恵まれない 20 億人以上の人々への基本的エネルギー・サービスの拡充、(c) (エネルギーに関する) 安全保障面でのリスク及び偏在するエネルギー資源獲得競争の過熱から生じる地政学的紛争リスクの回避を視野に入れながら具体的対応策を実施していくことを含む。

### 持続可能なエネルギーに関する課題

持続可能なエネルギーに関する課題は難解かつ複雑であり、社会、技術、経済、政治にまで及ぶ広大なものであると同時に、地球全体の課題でもある。世界の人々全てが、その行動・生活様式、願望・要望の選択を通じ、エネルギーのある未来の具体化に一役買っており、更には、持続可能な成果をもたらすという重大な任務を共有している。

現在のエネルギー利用動向を後押しする推進力は途方も無く大きく、多くの先進国における高度の消費レベル、継続的な人口増加、開発途上国の急速な工業化、既存の資本集約的長期耐用型エネルギーインフラ、エネルギー消費型サービスや娯楽設備への世界全体レベルでの需要増加といった状況の中、こうした推進力を阻止することは容易ではない。一人当たりのエネルギー消費量には国レベルで大きな差が存在するにもかかわらず、比較的裕福な世帯は世界中どこでも一様にエネルギー消費型の家電・家財道具を取得する傾向にある。従って、必要なエネルギー需要への対応として、需要と供給双方の効果的な解決策を用いる持続可能な方法による課題解決とその契機獲得には、先進国と発展途上国双方の関与が必要となる。

実際のところ、この課題の成功の見通しは、急速に工業化が進展する世界経済において、よりクリーンで効率的な技術の展開を加速する目的で、各国の連携により必要な財源、技術的な専門知識、政治的意志を投入出来るか否かにかかっている。同時に、世界の人口の大部分は現代的エネルギー・サービスの利用機会が与えられておらず、つまり人間的かつ経済的な発展のための機会を奪われているという不公平な現実も検討課題である。

特に世界経済全体が同時進行的に新たな技術の導入やエネルギー集約度（エネルギー消費/GDP）の減少を達成する事が出来れば、持続可能性に関連する他の目標を曲げることなく、これらの問題を解決することは可能であろう。通常のビジネス行動から脱皮して行くプロセスは必然的に緩慢かつ反復的になる。何故なら、主要なエネルギーインフラは十年から数十年に亘る長期の耐用年数を前提として構築されており、マクロ的視点からのエネルギー「展望」が大きく変化するには時間を要すると考えられているためである。しかしながら、エネルギー・システムに不可避な「タイムラグ」により、切迫度は高まる。即ち、環境やエネルギーの面での安全保障上のリスクが増大していることに鑑みて、世界は、今後 10 年以内に違う状況への転換

を果たすための大きな努力に着手しなければならない。それが遅れば、世界のエネルギー・システムに起因する現在の問題解決がより困難になるだけでなく、将来的にもより複雑で高コストな調整が必要となる。

次世紀にわたる管理が必要とされる生態系の現状、経済的緊急性及び資源の有限性を現在の世界的エネルギー利用動向という視点から見てみると、事態の緊急度が高いということが浮き彫りになる。石油供給の安定確保と気候変動という二つの側面からのみの考察であっても、これまでのエネルギー利用動向が続くと、次の四半世紀（すなわち 2030 年まで）には、世界の石油消費量（対 2005 年レベル）が 40%近くも上昇し、二酸化炭素排出（対 2004 年レベル）は 55%も増加すると、国際エネルギー機関の「2006 年世界エネルギー展望」で予測されている。比較的安価で容易に採掘できる石油の埋蔵量はここ数十年の内にピークに達するという見方が広く知れ渡っており、気候変動のリスクを確実に緩和させるには、同時期に世界的な温室効果ガス排出量を大幅に減少させることが必要になることも数多く論証されている。この観点からも、今日のエネルギー利用動向と将来の持続可能性への要件とのギャップがいかに大きいかは言うに及ばない。

この報告書に関し、インターアカデミー・カウンシル（InterAcademy Council）のスタディパネル（Study Panel）は、将来の持続可能なエネルギーのある社会への移行にあたって大きな役割を担うと思われる様々な技術や代替資源について、現在の課題に対する適切な政策案や研究開発面での優先事項と共に検討した。これらの分野の主要所見の概要を以下に示すと共に、スタディパネルによる、各 9 項目に対する実行可能な提言を盛り込んだ。

### **エネルギー需要とエネルギー効率**

持続可能性という目標を達成するには、エネルギーの供給方法だけではなく、その使用方法も変えていく必要がある。多種多様な商品、サービスまたは娯楽に必要なエネルギーの消費量を減らすことは、現在のエネルギー・システムの負の側面への対策の一つであり、エネルギー供給技術や資源の構成を変えるために重要かつ不可欠なものである。エネルギーの需要・供給バランスの上で、エネルギーの需要側を改善する場合、供給側の改善の場合と同様、多くの機会に恵まれ、かつその機会は多様であり、しばしば短期及び長期双方の大きな経済的恩恵をもたらす。地理的、構造的又はその他の要因が一部あったとしても、世界各国の一人当たりまたは GDP（国内総生産）当たりのエネルギー消費（生活水準補正済みの値）に大きな違いがあることは、多くの国でエネルギー消費を減らすことが可能であることを示唆する。同時に、それは、世界の最貧困層の生活の質を大きく改善するものとなる。

一例では、電気等の近代型エネルギーの一人当たりの消費量と、HDI（人間開発指数：Human Development Index）といった社会福祉水準とをグラフにした際、健康、教育、所得指数から計算される HDI 値がほぼ同等であっても、エネルギー消費量がより低い、高レベルの福祉を享受している国があることがわかる。持続性という観点では、社会福祉を最大限に向上させつつも、付随して生じるエネルギー消費を最小限に留めることは可能であり、かつ好ましい方向である。

全体として経済成長に貢献したり、絶対的なエネルギー消費量を減らしたりする程度ではない

にしる、エネルギー集約度、即ち商品及びサービスの供給に対する消費エネルギーの比率を減少させた国は多い。エネルギー集約度を更に低下させることは、公共的優先項目として広く実施されるべきである。単に技術的見地からしても、改善の可能性が高いことは明らかである。工学、材料、システムデザイン等の最先端技術の進歩により、エネルギーの純消費量をゼロとする建造物の建設や、走行距離当たりのガソリン消費量が格段に低い自動車の製造が可能になった。勿論、今はこれら新技術のコスト削減を図る一方で、これらの技術を市場で広範囲に適用する上での障害要素（情報不足や奨励策の不統一から、エネルギー効率を最大化する製品には向けられない消費者の嗜好まで）を克服することが課題である。

エネルギーとコストの問題のみの観点からは費用対効果が非常に高い投資の場合でも、効率性の改善に対する投資についての阻害要因を克服するための政策手段が必要であることが経験上示されている。米国では、電気製品の効率基準の導入により冷蔵庫についての技術改善がもたらされ、公共政策によりイノベーションに拍車がかかったことの一例となった。これに付随して製品やサービスの質が維持または改善されるとともに、相当な効率向上がもたらされた。別の例では、情報技術用のプログラムや財政刺激政策に加え、建造物、車両及び電気製品に関する効率基準が挙げられる。

## エネルギー供給

現在の世界のエネルギー供給構成は、化石燃料、即ち石炭、石油と天然ガスが主である。今日では、世界における主要エネルギー需要の内、約80%が石炭、石油及び天然ガスの供給により賄われている。残りの大半は、旧来のバイオマス、原子力発電及び大規模な水力発電によるものである。現時点では、現代の再生可能エネルギーが担う部分はかなり少ない（現在の世界供給総量の内数パーセントレベルである）。エネルギー供給の安定確保（特に、石油及び（量的には劣るが）天然ガスといった、比較的安価で従来から供給されていたエネルギーの安定供給）は、多くの国においてもエネルギー政策の主要機軸であり、また、地域における政治的な緊張と経済脆弱の大きな原因である。それにも関わらず、化石燃料に引き続き依存することに伴う環境面での制約は、供給の制約よりもむしろ根本的な達成目標として認識されてきているようである。現在のエネルギー利用水準を見るに、世界の石炭備蓄だけで数世紀分の消費量を賄うには充分であり、将来は石油代替物の原料となる可能性もある。しかしながら、二酸化炭素排出に対する対応をとらない状態で将来の世界エネルギー配分の内の大きなシェアを引き続き石炭に依存すると、許容限度を超える気候変動をもたらすリスクが生じてくる。

持続可能性という目標を達成するには、現在供給されているエネルギー資源の構成比率を、先進型バイオ燃料を含む低炭素技術と再生可能エネルギー源がより大きな役割を果たす方向へと大きく転換させる必要がある。特に、地球上にある未使用の再生可能エネルギーの潜在的可能性は大きく、先進国と開発途上国のいずれにおいても広く分布している。この潜在的可能性を開発することによって、環境及び経済の発展という両方の目標に向けて前進するための他には見られない好機が与えられる場合も多い。

重要な政策発表を含む近年の進展と、大幅なコスト削減及び多くの再生可能エネルギー産業の大きな成長は期待出来るが、世界のエネルギー構成比において再生可能エネルギーがより大き

な役割を果たすためには、技術面や市場に未だ残存する大きな障害を克服しなければならない。エネルギー貯蔵及びその変換技術や長距離送電技術の進歩は、原始資源量（resource base）の範囲を大きく拡大させ、再生可能エネルギー開発関連のコストを低下させるのに大きく貢献した。その一方、世界的な設備再生可能容量（installed renewable capacity）の大幅増が、主に一握りの国での積極的な政策と奨励策によるところが大きかったということ認識する必要がある。他の国でも同様の認識が広がったことで、現在の普及割合が加速度的に増加し、継続的に行われる技術改善への追加的投資も増大するものと期待される。

電力を産み出す再生可能な手段（風力、太陽光、水力など）に加え、バイオマスを主成分とする燃料は、従来の石油系輸送用燃料に代わる重要な分野である。十分な環境保全が適用されるとするならば、サトウキビから造るエタノールは既知の魅力的な選択肢である。更に世界のバイオ燃料の将来性を高めるには、リグノセルロース植物素材の効果的な変換を基本とする新世代燃料の発展のため、集中的な研究開発を行う努力が必要となる。これと同時に、分子生物学及びシステム生物学の発展に伴い、改良型のバイオマス供給原料や、直接微生物（醗酵）製造過程を通して植物材料を液体燃料（ブタノールのような燃料）へ変換するための低エネルギー集約的方法の創生について、大きな可能性が見られるようになった。

統合型「バイオ精製工場」により、将来、持続性の面で管理されたバイオマス資源から、電力、液体燃料、その他の有益な副産物の効果的な共同生産が可能になるかも知れない。しかしながら、バイオ燃料への依存が高まれば、生産コストの削減の他、土地・水・肥料の使用量を極限値まで圧縮し、生物多様性への潜在的影響の検討も更に進めていく必要が出てくる。澱粉ではなくリグノセルロースの変換によるバイオ燃料代替物は、食糧の供給増加とエネルギー生産との間の競合関係を最小化する観点から、そしてバイオマスによる輸送用燃料にまつわる環境面での利点を極大化するという観点からも、さらに有望であると見込まれる。

化石燃料については、炭素集約度の比率が低くなるような技術の開発及び普及を急務とすることが同様に重要となる。特に、持続可能性がより高いエネルギー・システムへの移行の際、天然ガスは「架け橋的燃料」としての重要な役割を担うことになる。そのため、比較的クリーンな資源の十分な供給を保証し、種々の応用策における効率的なガス関連技術の普及を促進することは、中期的にみても優先すべき重要な公共政策である。

同時に、許容限度を超える環境リスクを生じさせることなく、世界で最も大量に存在する化石燃料資源である石炭を、継続的に使用することを可能にする技術の開発及び商業化は急務として実現されなければならない。科学的確実性の向上と気候変動に対する懸念の拡大にもかかわらず、従来の長期耐用型石炭式発電所の建設は続いており、近年は加速さえしはじめている。現在世界中で進行している石炭利用の大幅な拡大は、大気中の二酸化炭素濃度を安定させることを目的とする将来に向けた努力に対しての、唯一かつ最大の難題となるかもしれない。炭素の回収及び貯留を盛り込んだ最先端の転換技術への移行が見られる一方、既存の資本投資による温室効果ガスの「足跡」を抑制することは、技術的にも経済的にも大きな意味をもつ課題である。

核不拡散、廃棄物処理、コスト、社会の安全保障（テロ活動に対する脆弱性）についての懸念への取り組みを行えば（かつ、実際に取り組みが実施されていれば）、原子力技術は将来の低炭

素エネルギー供給に対し、継続的に貢献するであろう。

### **政府の役割と科学技術の貢献**

正しい刺激策と価格シグナル（price signals）とが備わっていない限り、市場は望ましい結果をもたらさない。このため、政府は最適な結果を得るために必要な条件を策定し、かつ新たなエネルギーインフラ、エネルギー研究開発、ハイリスク・ハイリターンという特徴を持つ技術に対しての長期投資を支援するなど積極的な役割を果たす必要がある。持続可能なエネルギーのある社会への移行についての条件を確立するという政治的意志が存在する限り、価格や炭素排出量の上限など（特に長期の設備投資決定に対する影響が効果的であるもの）の市場刺激策から、最終利用者側に変化をもたらす上で価格シグナルよりも強い効果を持つ可能性がある効率基準や建築基準に至るまで、様々な政策手段を講じることが可能である。より長期的に見れば、エネルギー、水及びその他サービスについての改良型配送システム、高性能輸送システム等、都市・土地利用計画のレベルにおいて重要な政策手段を講じる機会もある。

科学技術（S&T）は、将来の選択肢を拡大する新技術の開発を行う一方で、既存のエネルギー代替物の可能性を最大限まで伸ばしながらもコストを圧縮するという面での大きな役割を担っていることは明らかである。この要請に応えるため、科学界は、既存の有望な研究分野に従事するだけでなく、その先にある遠大な可能性をも探求するために必要となる資金へのアクセスが必須となる。世界的に行われているエネルギー研究開発への現在の投資は、目先の課題に取り組むにも不十分であるということが広く知られている。

従って、重要なエネルギー技術上の優先課題を前進させるためには、現在の支出が少なくとも倍加することも視野に入れて公的及び民間の投資を実質的に増加させることが必要となる。既存のエネルギー産業への助成金を削減すれば、必要な資金の内の幾らかを賄うことが出来るようになると同時に、過剰消費へのモチベーション低下や、世界各地のエネルギー市場に共通するねじれ現象の緩和に繋がるかもしれない。また、重要なエネルギー技術の研究開発における明確な優先課題や目標への対応を行うと同時に、基礎科学においても必要な進歩を追求する目的で、将来公的支出を行うと同時に、公的資金の適用をより効果的に行うことが必要となる。同時に、改良型技術の普及には、研究機関や国境を越えた共同、協力、協調関係の更なる強化が重要となる。

### **即時対応が必要なケース**

現在のエネルギー利用動向が持続可能なものではないことは、科学的に立証されている動かしがたい事実である。環境、健康、開発、そしてエネルギーの安全保障面についての重要なニーズに対応するには、変化をもたらすための即時対応が必要となる。優れた技術を加速度的に普及させる積極的な政策転換が必要である。地域、国及び国際的なレベルにおいてこれらの政策と組み合わせれば、多くの人の生活状況の向上が、技術的かつ経済的にも可能になる。それと同時に、(1) 気候変動やエネルギー関連別の形態での環境破壊により発生するリスクへの対処や、(2) 化石燃料資源のみに頼るこれまでの様式の下に生じる、地政学的緊張や経済学的脆弱性の緩和も可能となる。

スタディパネルでは、主要問題を9項目に分け、各項目に対する結論に加えて各項目についての提言も本報告書に盛り込んだ。

これらの結論及び提言は、持続可能なエネルギーのある未来に移行するための総合的なアプローチの一環として記載されている。本記述の意図するところは、これら各課題はその内のいずれの一つについても、相互についての適切な対応処置なくしては首尾よく達成することは不可能であるという点である。そのため、これらの提言に優先順位をつけることは本質的に困難である。しかしながら、スタディパネルは、気候変動についての忌むべき見通しを踏まえ、以下の3つの提言を猶予することなくかつ同時に実行すべきと考えている。

- エネルギー効率の改善並びに炭素排出用の価格シグナルを全世界的に導入することを含む世界経済における炭素排出原単位（carbon intensity）の減少に向けた協調的な取組みを、個々の国の経済状況及びエネルギー体系が各々異なっていることを考慮しながら進める。
- 特に石炭などの化石燃料から炭素を回収及び隔離する技術を開発・普及させる。
- 環境に配慮した方法による、再生可能エネルギー技術の開発・普及を加速する。

先に示した3つの提言は対応が急務のものであるが、次に示す提言は社会倫理的な観点から必須のものであり、あらゆる対応策の実施が必要である。

- 地球上の最貧困層に基本的かつ現代的なエネルギー・サービスを提供すること。

持続可能なエネルギーがある未来の実現には、国際社会の一致協力した取組みが必要である。また、本報告書に示される提言の実施には各界における分業が必要になる。スタディパネルは、成果達成に責任を負う主なセクターを以下に記載する。

- 政府間組織（例、国連、世界銀行、各国・地域の開発銀行もしくは政策投資銀行）
- 政府（国家、地域、地方）
- 科学技術コミュニティ（及びアカデミア）
- 民間セクター（企業、産業、基金）
- 非政府組織（NGO）
- メディア
- 一般市民

## 結論、提言、対応策

スタディパネルは、本報告書に論じられる主要点に基づき、提言及び主要セクターによる対応策と併せ、各結論を記載した。

**結論 1. 地球上の最貧困層の基本的なエネルギーニーズを満たすことは、持続可能性に関する目標と併せて達成し得るか？達成しなければならない道徳的かつ社会的急務である。**

今日、推定24億人が石炭、木炭、薪、残余農作物、肥料を基本的調理用燃料として利用している。大まかに見て世界の16億人が電気のない生活を送っている。大方の人々、とりわけ成人女性と女子児童は経済活動に携わったり教育を受けたりする機会が与えられず、手頃な価格の基本的な家財道具（労力節約目的のもの）や十分な灯りもないまま、燃料と水を集めるために毎

日の時間を費やしている。数百万世帯が、古くから使われている調理用燃料から室内に放出される空中汚染物質により高い健康リスクに晒されている。世界の貧困層に近代型エネルギーを供給することで、多くの利益がもたらされ、生き抜くための基本的手段を確保するための日々の苦労が緩和され、空中汚染物質による実質的健康リスクが減少し、基本的な医療ケアを始めとする基本サービスの提供が促進され、地域の環境悪化が緩和される。国際的関心が高まる中、こうした理念が南アフリカ・ヨハネスブルクにおける 2002 年 持続可能な開発に関する世界首脳会議での主要テーマとして取り上げられた。これを受け、国連の 21 世紀開発目標を達成するための必須要件としては、信頼性が高くかつ廉価なエネルギー・サービスの供給範囲を拡大させることが重要であるとの認識を強めることとなった。

## 提言

- クリーンかつ入手可能な高品位燃料と電力を迅速に行き渡らせることに高い優先順位を置かなければならない。最新型エネルギーの利用可能な範囲を広げるという課題は、主に社会的資産や配分の問題が中心として考えられる。言い換えれば、世界的な資源不足、過酷な環境ダメージ、あるいは利用可能な技術の欠如だけが基本的な問題ではない。現在の不公平性を改善する上で困難があろうとも、世界の貧困層が基本的なエネルギーを必要としていることに言及することは、持続可能な発展における高い目標に照らしても明らかに重要であり、現在の国際社会のための最優先事項でなければならない。
- 国家間のみならず、同一国内の国民の間でも、あるいは同じ町や村でも世帯間でもエネルギー・サービスに不公平な格差が存することを強く認識し、一村落から世界規模に到る全てのレベルにおいてエネルギー政策を策定しなければならない。多くの発展途上国では、少数のエリートが先進国と同様のエネルギーを消費している一方で、それ以外の人々の多くは、従来型の、ときに低品位で極度に汚染されたエネルギーに頼らざるを得ない。他の発展途上国では、成長する中流階級によるエネルギー消費が世界的なエネルギー需要の伸びに大きく影響し、国民一人当たりのエネルギー消費率も非常に高いという事実がある一方で、貧困層の消費動向は殆ど変化していない。何十億もの人々は電気を利用する機会を制限され、衛生的な調理用燃料にも事欠くという現実を、一人当たりの統計値から見落としてはならない。

## 必要な対応策

- 国際的な局面においては国連や世界銀行などの政府間組織がイニシアティブをとり、世界の貧困層のエネルギー不足解消のための計画を作成する。最初の一步として、政府と NGO は、それらの国々に関するデータを提供することで支援を行うことができる。
- 民間セクターと科学技術コミュニティは、適切に技術移転を促進する。また、民間セクターは適切な投資を行うことで、ニーズ緩和のための支援を行うことができる。
- メディアは、一般市民に問題の重大さを認識させる。

**結論** 2. エネルギー効率を改善し、世界経済における炭素排出原単位を減らすためには、協

### 調的努力が必要である。

経済競争力、エネルギーの安全保障及び環境への配慮という点を論じるのであれば、費用対効果の向上、かつ一般消費者レベルでの効率性改善が具体的な達成目標となる。より具体的な目標は、産業界、交通・輸送機関及び建築環境を見渡せば、どこにでも見出すことが出来るだろう。効率性向上最大化と費用最小化のためには、可能な限りの分野における体系的な改善が必要であり、特に耐用年数の長いインフラが含まれる場合重要である。その際、エネルギー効率向上に関する数値目標達成の困難さの過小評価を避けることが重要である。この過小評価は、エネルギー利用量削減それ自体を目標と想定する場合によく起こるようであるが、本来は、その他の望まれるものに対し日常的に取引される対象として想定すべきである。

### 提言

- 先進国と発展途上国の間で技術改善と革新の普及を促進しなければならない。発展途上国が工業化する際には、よりクリーンで効率的な技術を得ることが出来るよう全ての国が協力することは特に重要である。
- 特に耐久消費財への設備投資を促す経済刺激策を、長期的な持続可能性に関する対象及びコスト効果と連動させなければならない。規制に縛られているエネルギー・サービスの提供者への奨励策を構築し、費用対効果の向上を目指す共同投資を促進し、エネルギーの売上高と利益をリンクさせないようにする必要がある。
- 世界経済における炭素排出原単位を更に世界規模で削減する政策を遂行しなければならない。炭素排出原単位とは、二酸化炭素等価排出量を世界総生産（GDP）で除して得られる評価値であって、世界の幸福の度合いに対する未加工の測定値である。具体的には、スタディパネルは温室効果ガス排出を回避するため、有意義な価格シグナルを導入するために、即時に政策手段を講じることを提言する。初期価格ほどの重要性は持たないものの、価格シグナルの予測可能な上昇については明確な予測値を打ち出すことが必要であろう。今後数十年の間、単に二酸化炭素排出を現在の排出量に抑えるだけでも、世界経済における炭素排出原単位を、世界総生産の増加率とほぼ同じ比率で減少させる必要があると言われている。そして、温室効果ガスの大気中濃度を安定させるためには世界の炭素排出量を絶対的に減らす必要があり、そのためには世界の経済成長率を凌ぐ率での炭素排出原単位の圧縮を全世界で達成していく必要がある。
- エネルギー効率改善に向けた実用的手段を迅速に講じるための主な推進母体として地方公共団体に協力を求めること。
- 遵守義務のある最低限の効率基準を、電気製品や設備類の上にラベルとして貼付するなど、製品のエネルギー利用特性についての情報を消費者に発信する。規格は定期的に更新され、かつ効果的に施行されなければならない。

### 必要な対応策

- 政府は、民間セクターと科学技術コミュニティとの対話を通じて（更に別の）政策や規制を策定し、かつその内容を実行しなければならない。その際、様々なプロセス、サービス

及び製品に対するエネルギー効率の改善や、エネルギー集約度の削減を目標とする必要がある。

- 政府、メディア、NGO の情報提供により、一般市民はそのような政策や規制の意味と必要性を認識しなければならない。
- 科学技術コミュニティは、研究にその能力を発揮し、新規の低エネルギー技術の更なる研究開発に努める必要がある。
- 政府間組織の構成員たる各国政府は、炭素排出に関する現実的な価格シグナルについて合意し、経済及びエネルギー体系が国毎に異なれば、個々の戦略や軌跡も異なってくるということを認識した上で、その価格シグナルを炭素排出量削減のための更なる対応策についての主要構成要素とすべきである。
- 民間セクターと一般市民は、政府が明確な価格シグナルを提供すべきであることを主張し続ける必要がある。

### **結論 3. 特に石炭などの化石燃料から炭素を分離・回収する技術により、世界中の二酸化炭素排出量を費用対効果の高い方法で管理することができる。**

世界一豊富な化石燃料である石炭は、全世界で用いられる各種エネルギーの一構成要素として大きな役割を引き続き担っていくと思われる。石炭は、通常利用されている燃料の中でも最も炭素排出原単位が高い燃料であり、天然ガスと比較すると、供給エネルギー単位あたりの二酸化炭素排出量はほぼ2倍になる。今日では、新設の石炭火力発電所（大半は50年以上の耐用年数があると予測されている）がかつてない程の速度で建設されている。それに加え、米国、中国及びインドといった大量の石炭埋蔵量を誇る国々が、エネルギーの安全保障問題への対応を実施し、かつ石油に代わる代替物を開発する目的で石炭利用に方向転換したとすると、石炭からの炭素排出割合は更に上昇するかも知れない。

### **提言**

- 最新式の石炭技術の開発と普及を加速させること。政策関与がない場合には、今後20年の内に建設される石炭火力発電所の大半が、通常の微粉炭火力発電所になるであろう。必要設備を装備している場合について述べると、微粉炭火力発電所から二酸化炭素排出物質を回収する現在の技術は高価な上にエネルギー集約的である。炭素回収システムを装備しない石炭火力発電所を新たに建設しなければならない場合こそ、最も効率のよい技術を用いるべきである。更に、全ての新規発電所については、炭素回収技術の内の少なくとも幾つかの要素の開発によって将来の設備改装のための費用を圧縮することを優先すべきである。方式の異なる発電所本体において様々な炭素回収技術を開発する努力は現在も進められており、最新の技術革新を利用した本格的な発電所建設の推進を更に奨励する必要がある。
- 炭素回収と貯留の商業化に向けた努力を積極的に継続すること。費用を下げ、信頼性を高め、漏出、保安その他の懸念に対処するため、研究と実験を継続し、本格的規模の実証事業として推進することが重要である。回収と隔離を広く実行するには、規則を策定し、炭素排出への価格シグナルを導入することが必要となる。現在の原価見積りに基づき、スタ

ディパネルは、炭素回収と貯留を幅広く普及させるためには、炭素等価物 1 トンにつき 100-150 米ドル（二酸化炭素等価物 1 トンにつき 27-41 米ドル）の価格シグナルが必要になると考えている。このレベルの価格シグナルであれば、バイオマス並びに他の再生可能エネルギー技術の普及を促進する推進力にもなるであろう。

- 既存の微粉炭火力発電所の大規模かつ急速な増加数に適した、燃焼後炭素回収技術の改善の可能性について検討すること。短期的には、効率性向上と最新の汚染抑制技術を、迫り来る気候変動と公衆衛生への影響を緩和する手段として、既存の石炭火力発電所に適用しなければならない。
- 石炭・バイオマス併用のシステムを用いて炭素回収と貯留を続行すること。この技術の組合せにより、効果的に大気中から二酸化炭素を除去するという、温室効果ガス排出の削減効果を得ることができる。

### 必要な対応策

- 民間セクターと科学技術コミュニティは協働して炭素の回収と隔離の可能性をさらに調査し、提示しうる技術を開発することとする。
- 政府は、資金や機会（試験場など）を提供することで、こうした技術の発展を促進すべきである。
- 一般市民には、炭素分離の長所及び関連するリスクの管理方法の有無について、全ての情報が提供される必要がある。メディアは、そのための支援を行う。

### 結論 4. 石油と天然ガス供給を巡る獲得競争は、今後数十年で多くの国々に、地域における政治的な緊張や経済的脆弱性をもたらす原因となる危険性がある。

多くの開発途上国では、輸入エネルギーの費用を賄うためには、公衆衛生、教育及びインフラ開発のための緊急対応用の乏しい資源を転用することになる。運輸部門は世界の一次エネルギー消費の内の丁度 25 パーセントを占めるが、転用可能な燃料の種類が多くないことから、輸送用燃料は特に貴重なものになっている。

### 提言

- 以下の通り、運輸部門におけるエネルギー消費抑制を促進する政策や基準を導入すること。  
(a) 自動車その他の交通手段のエネルギー効率改善、(b) 公共交通システムの効率改善（大量輸送機関、より優れた土地活用と都市計画等への投資を通すことによる）。
- バイオマス燃料、プラグイン・ハイブリッド、圧縮天然ガスを含む、運輸部門のエネルギーニーズを満たす目的での石油の代替燃料や、水素燃料電池のような燃費の優れた代替燃料を開発する。
- 石油代替燃料の開発を、他の持続可能性に関する目標とも適合する方法で追及するための方策を実施する。石炭を液化する、あるいはタールサンドとシェール油など非通常型原料からオイルを抽出する最近の方法は、従来の石油の消費量と比較しても二酸化炭素その他の汚染物質排出の実質レベルが高い。炭素回収・隔離の技術を利用する場合でさえ、石炭

に由来する液体燃料は、燃焼の際に従来の石油とほぼ同等レベルで二酸化炭素を排出する。変換過程からの炭素排出が回収・貯留出来ない場合、このエネルギー経路のための燃料サイクルからの排出総量は2倍になる。天然ガスを液体に転換することは、石炭を液化するよりも炭素集約性は低いが、バイオマスは実質的に炭素中性であり、長期的に持続可能と思われる唯一の短期的な原材料である。いかなる場合においても、燃料サイクルの全影響度は、採用する原料や特定の抽出・変換方法に大きく依存している。

### 必要な対応策

- 政府は、特に運輸部門におけるエネルギー消費の削減及び石油代替燃料の開発などを目指し、(更なる) 政策や規制を導入しなければならない。
- 民間セクターと科学技術コミュニティは、そのために十分な技術を開発し続けなければならない。
- 輸送用のエネルギー利用に関する持続性の問題については、一般市民の認識を相当程度高める必要がある。そして、メディアはそのために重要な役割を果たすことが出来る。

**結論 5. 低炭素資源としての原子力発電が世界全体のエネルギー構成において占める割合は今後も伸び続け、将来より大きな割合を示すようになっていくであろうが、投資コスト、安全性、核拡散に関連した大きな問題は残る。**

原子力発電は稼動時に二酸化炭素や大気汚染物質の排出がなく、かつ比較的豊富に存在する燃料用供給原料を用いる。化石燃料を利用する発電系と比較すると、原子力発電のマスフローは桁外れに小さい。しかしながら、原子力を将来利用する可能性は現時点では限定的である。その背景には、コスト、廃棄物管理、核拡散の可能性及びプラントの安全性に対する懸念がある(テロ攻撃に対する脆弱性、中性子損傷の影響に対する懸念も含む)。原子力発電を最大限利用するには、こうした問題への対応が必須となる。

- 高経年化した原子炉を、固有の(受動的な)安全機能を組み込んだ改良型プラントと交換すること。
- 原子炉設計の標準化を進めることにより、コスト面での問題に対応すること。
- 原子炉システムの高経年化(材料への中性子損傷など)による影響を認識し、既存プラントの安全かつ経済的な閉鎖を行うこと。
- 長期的な廃棄物対策として、乾式貯蔵容器を基本とする安全かつ回収可能な廃棄物管理手法を開発する。安定した地質環境にある貯蔵施設における長期の廃棄物処分が技術的に可能である一方、この方法を実施するに当たっての社会的な容認を得ることは大きな課題として残っている。
- (a) 拡散抵抗性の高いウラン濃縮、燃料再処理及び熱中性子炉から発生する廃棄物の処理が可能な安全な高速炉に関する研究を継続し、かつ (b) 既存の国際的枠組みや統制機構の欠点を修正する努力を続けることにより、民間所有の核物質や知識の兵器転用のリスクを減じる。

- 原子力に関わる問題点とその解決方法を透明かつ客観的な方法で再検討する。これらの再検討結果は、市民と政策立案者の啓蒙に用いられるべきである。

### 必要な対応策

- 世界の原子力の未来について論議がある中で、国連は原子力を取り巻く問題と可能な解決策という課題について、透明かつ客観的な根拠に基づく方法により、可能な限り迅速に取り組む必要がある。この再点検の結果を一般市民に知らせることは重要である。
- 民間セクターと科学技術コミュニティは、原子炉の安全性向上と、安全な放射性廃棄物管理の解決策を導き出すため、研究開発の努力を続けるべきである。
- 政府は高経年化した既存原子炉群を現代的で安全な発電施設に置き換える支援措置を講じる必要がある。政府と政府間組織は、既存の国際的枠組みとその管理方式の欠点の改善に努めなければならない。

### 結論 6. 多様な形態による再生可能エネルギーを研究することで、技術の進歩や革新の大きな機会がもたらされる。

今後 30 年から 60 年の間、次世紀への代替資源の多様な選択肢を支える包括的戦略の一部として、こうした機会を実現するための努力を続ける必要がある。持続期間が最長である再生可能な資源を見つけるにあたっての最も基本的な問題は、コスト効果面でも利用可能であり、本質的に広域に存在し、かつ時として断続的に入手可能な資源を見出すことである。持続可能であり、長期にわたり入手可能であり、かつ形態が多様であるという点が、こうした障害に打ち勝つためには必要である。再生可能なエネルギーを開発すれば、途上国に大きな利益をもたらすことができる。なぜなら、石油、ガス、その他の燃料は毎日の必需品であるためである。

### 提言

- 炭素排出回避のための価格シグナルを策定する政策を含め、再生不能資源に対する再生可能な資源の環境面での利点が市場において体系的に認識されるよう、複数の政策を実施する。
- 助成金その他の公的支援により、新たな再生可能技術の開発を早期に行う。助成金は、有望であるにもかかわらず未だ商業化には至っていない技術を対象とし、年数を経て段階的に削減すべきである。
- 再生可能エネルギー構成基準（再生可能エネルギー展開のための具体的な目標設定）や、「逆競売」（再生可能エネルギー開発者が、キロワットアワー当たりの値を基に、必要最低限の助成金を基準にして限定的な公的資金の一部を取得する）など、再生可能エネルギー技術を育成するための選択制政策立案制度を研究する。
- より優れた転換技術についての研究開発（薄膜を利用する連続製造プロセスによる新型の太陽電池など）により多く投資すること。（「結論 7」のバイオ燃料に関する提言も参照のこと）。
- 再生可能エネルギー技術の大規模な展開との関連において、その環境への悪影響を評価し

緩和するための継続的な研究を実施する。これらの技術は多くの環境的利点を有するものの、その低い電力密度や大規模設備には広大な土地が必要となり、その結果、新たな環境リスクが生じる可能性も秘めている。

### 必要な対応策

- 政府は、適切な政策及び助成金を通し、再生可能エネルギー資源を環境面において持続可能な方法により利用するよう実質的な促進活動を行う。この観点における主要な政策手段には、温暖化効果ガス排出を回避するため明確な価格シグナルを設定することも含まれる。
- 政府は、公的資金を大幅に投入することで、再生可能エネルギー技術の研究開発を促進する。
- 民間セクターは、政府助成金の支援を受けて成長する再生可能エネルギー市場において起業機会を探るべきである。
- 科学技術コミュニティは、現在再生可能エネルギーの寄与を制限しているコスト面及び技術面での障害を乗り越えるため、より多くの努力を投入する。
- NGO は、開発途上国で再生可能エネルギー資源の利用促進を支援することが出来る。
- メディアは、再生可能エネルギーに関連する問題について、一般市民の認識を高めるという重要な役割を担うことができる。

### 結論 7. バイオ燃料は、気候変動とエネルギー安全保障に関する懸念に同時に対処するうえで、大きな可能性を秘めている。

農業を改善することにより、エネルギー用穀類を育てるための余裕を持たせつつ、90 億人規模と言われる世界人口（最大予想数）を支えるのに十分な食糧生産が可能となる。バイオ燃料を最大限に活用するには、リグノセルロース（木質組織の主要素）を含む供給原料（農業残渣及び廃棄物を含む）から燃料を生産するための方法を商品化する必要がある。これによりサトウキビやトウモロコシといった供給原料のデンプンを利用するプロセスを介して、従来の 5~10 倍多い燃料を生産できる可能性がある。分子生物学や組織生物学における近年の進歩により、改良型供給原料及び植物性原料を液体燃料へと変換させるエネルギー集約型手法の開発見込みが高いことが示されている。更には、太陽光、水及び栄養素の化学エネルギーへの変換は本質的に効率が良い。こうしたエネルギー変換を可能にするには微生物の利用が必要となるかもしれない。

### 提言

- リグノセルロース転換に基づくバイオ燃料生産に関する集中的な研究を実施する。
- エタノールよりも優れている可能性があるブタノールその他のバイオ燃料の直接的な微生物生産に関する研究開発に投資する。
- バイオ燃料の培養が持続可能な農業との調和を保証し、生物多様性、生息地保護その他の土地管理目標を促進するため、厳密な規制を遵守する。
- 自家発電式で高価値副産物を生成するバイオマス貯蔵所を利用した先進のバイオ精製所を

開発する。そのような精製所には、バイオマス資源を使用することで経済的かつ環境的利益を最大限に生かす可能性がある。

- 最小限の耕地面積並びに肥料または化学薬剤で済み、かつ耐乾性と自家受精能力を併せ持つ植物を開発視野に入れた、遺伝子選択及び／又は分子工学による改良型バイオ燃料貯蔵所を開発する。
- バイオマスの従来の使用法を含め、現在のバイオマスの種類別・技術別の使用方法について（直接利用及び他の燃料への転換のため）、データ収集と分析を協力して行う。
- 他の土地利用法（生息地保存と食糧生産の用途を含む）との競合及び水需要その他の影響をも視野に入れ、バイオマス・エネルギー貯蔵所の大規模な造成と環境及び生態系における有害な影響を評価かつ緩和することを目的とした研究を継続する。

### 必要な対応策

- 科学技術コミュニティと民間セクターは、現代のバイオ燃料生産について、より効率的で環境面で持続可能性のある技術及びプロセスに向け、研究開発（およびその普及）を大きく拡大する必要がある。
- 特に運輸部門では、化石燃料の代わりにバイオ燃料を使用することが望ましいことから、政府は研究開発費を増額するとともに、既存の助成金や財政政策を適用することで支援が可能である。
- 政府はバイオ燃料生産の持続可能な方法の促進のほか、バイオ燃料生産と食糧生産が互いの妨げにならないよう、適切な注意を払わなければならない。

**結論 8. 費用対効果の高いエネルギー貯蔵技術、新しいエネルギー担体及び改良型送電網を開発することでコストを下げ、エネルギー供給用の様々な代替手段の拡大を図ることが可能となる。**

こうした技術革新やインフラへの投資は、持続的な再生可能資源を最大限に利用する場合には特に重要となる。殊に、最も豊富に存在し、コスト効果が高い資源が、それらを必要とする中心地から離れている場合にはなおのことである。改良型の貯蔵技術、新規のエネルギー輸送媒体、そして改良型送電網や流通用インフラによっても、特に遠隔地に居住する世界の貧困層への近代型エネルギー・サービスの供給が促進される。

### 提言

- 水素など、将来の新しいエネルギー輸送媒体の可能性について長期的な研究開発を継続する。水素については直接燃焼や燃料電池を駆動させる用途以外にも種々の潜在的応用範囲が考えられる。こうした応用範囲には、発電用もしくはその他の定置用途のためのエネルギー源及び航空輸送や道路輸送用の化石燃料の代替物としてのものが含まれる。しかしながら、コストとインフラの制約により、商業的利用は21世紀半ば以降になる可能性が高い。
- 風力や太陽エネルギー等、断続的再生可能資源の市場見込みを大きく改善するため、物理的（圧縮空気や高架水槽など）及び化学的（バッテリー又は二酸化炭素削減から生成され

る水素や炭化水素燃料など)の何れかによるエネルギー貯蔵技術を発展させる。

- 長距離送電技術の改良及びコスト削減を引き続き追求する。高圧・直流送電線は、特に遠隔地域における再生可能エネルギー開発、グリッド信頼性の改善及び様々な低炭素電源の効果を最大限に得ることが出来る上、送配電網の操作性と信頼性とを大きく強化する、先進的あるいは「高性能の」グリッド技術の開発と応用とを通じて、全体的なグリッド格子管理と性能を改善することが重要になる。

### 必要な対応策

- 特に再生可能エネルギーの科学技術コミュニティは、民間セクターと協力して本領域における研究開発に焦点を当てるべきである。
- 政府は研究開発の公的資金を増やし、必要とされるインフラ投資を促進させることにより支援を提供することが出来る。

**結論 9. 科学技術コミュニティは一般市民と協力し、持続可能なエネルギーの解決策を推進していく上で重要な役割を担っており、これを効率的に進めなければならない。**

既出の提言にも繰り返し述べられているように、今世紀以降のエネルギー問題への対応として、新規及び改良型のエネルギー技術の開発、実演ならびに普及（実際の利用）を持続的に推進することが必要になる。こうした進歩は、適切な政策、奨励策や市場の担い手による刺激及び支援を受けた科学技術コミュニティによりもたらされることが必要であろう。

### 提言

- 奨励策や民間セクターによる投資の増加を促進する市場シグナル（market signals）とともに、持続可能なエネルギーの研究開発への公的な研究開発投資のための財政支出拡大を図る。
- 国際的な技術開発において更なる協力を進め、大学や研究機関を持続可能性に関連する研究課題に集中させる。
- エネルギー資源と最終用途との可能な組合せを特定し、エネルギーと関係のある複数の持続可能性関連の課題について同時に対応する潜在的可能性のある技術を提供するため、厳密な分析とシナリオ作成を行う。
- 持続可能なエネルギーの解決策を最も効果的に進展させることが出来る制度、規制、市場刺激策についての具体的な変化を特定し、かつ評価するための努力を推進させる。
- 持続可能なエネルギーのある社会への移行に必要な役割を担う全専門分野において、特にエネルギーについての認識、教育、訓練に更なる重きを置く。
- エネルギー生産及びその利用と、重要な環境リスク及び安全保障面でのリスクとの間の関連性といった持続可能エネルギーの重要な一面を一般大衆に周知・啓蒙するため、一致協力して活動していく。
- 現状では、信頼性の高い情報が不足しているとされる主要政策項目において意思決定がより適切に行われるよう支援するため、データ収集活動を強化する（多くの途上国の大都市

においては、例えば輸送ニーズについての効率的なプランの作成に必要な基本データが不足している)。

### 必要な対応策

- 科学技術コミュニティは、民間セクターとの協力により、国際的な分担により実施されているエネルギー研究開発に寄与する必要がある。持続可能なエネルギーのある社会に向けて、その主要な障害物への対応を目標とした重点的共同計画を提供すべきである。
- 政府（及び政府間組織）は、科学技術コミュニティからの現状の貢献度を高めるばかりでなく、持続可能なエネルギーの問題点に対処する目的で、より多くの科学者や技術者を集めるために、さらに多額の公的資金を提供しなければならない。
- エネルギー研究開発を行う理由と方法を一般市民に対して完全に公開することで、長期的な持続可能性ニーズへの対応に必要とされる多額かつ持続的な投資を行うための支援を得る基盤を築くべきである。
- 科学技術コミュニティ自体、政府間組織、政府、NGO、メディア、そして（限定的ではあるが）民間セクターは、こうした投資ニーズに関する一般大衆の啓蒙に積極的に参加すべきである。

### 「持続可能なエネルギー：未来への指針」

現在のエネルギー事情は非常に憂慮すべき状態にある一方で、スタディパネルは、こうしたエネルギー問題についても持続可能な解決策はあると信じている。エネルギーに関する科学技術への積極的支援を、エネルギーの需要・供給の全体像を変貌させることができる革新的解決策の共同開発及び導入を加速させる促進方策と連携させることが必要である。世界のエネルギー・システム全体を、供給側と最終用途を考慮した優れた技術へ移行させるという見通しは立てられているものの、現在の投資フローは一般的にはこうした見通しどおりになってはいない。科学及び工学技術は、持続性という計画の指針となるべき理念である。科学は、トレードオフとリスクについての合理的論議、研究開発の優先順位決定、ならびに新しいチャンスの同定についての礎となる。何に対してもオープンであるという特質（openness）が科学の最たる特異点の一つである。最も有望な技術を絶え間なく最適化することを通し、工学技術（engineering）から解決策を導き出すことができる。作業を通して得た知識が工学技術の最たる特異点の一つである。同時に多くの方法を探ること、実際のパフォーマンス（能力）についての判定基準により結果を評価すること、結果を広く遍く報告すること、そして変更や調整の余地がある戦略方法を利用することにより、より良い結果が達成される。

そのためエネルギーの長期的な研究開発は、持続性の追求にあたって主要な構成要素となる。現在の技術によって大きな躍進を達成することはできるものの、長期にわたり大規模な難題に取り組む場合には新しい解決法が必要となる。研究者コミュニティは、既に視野にある有望な技術や、場合によってはまだ生まれたばかりの技術を追求するための手段を備えていなければならない。

持続可能なエネルギー・システムへの移行には、市場でのモチベーションが持続という目標と一

致していることも必要である。特に、炭素排出の回避についての強固な価格シグナルが、低炭素エネルギー技術の開発及び利用促進にとって重要である。こうした価格シグナルは徐々に実行段階に入っているものの、エネルギー事情は時を経てどのように変化するかという将来像が予め確立され、かつ明確に伝達されていることが必要である。こうした背景があつてこそ企業は初めて確信を持って長期資本投資計画を立てることができ、かつそうした投資を最適化することができる。

今後の課題全てを成功させる鍵は、エネルギー資源とその利用を変更することができる個人及び組織の能力にかかっている。個人の専門技術及び組織の有効性の双方についての能力開発は、政府間組織、政府、法人、教育機関、非営利組織及びメディアといった主要関係者全てにとって至急対応すべき項目とならなければいけない。結局のところ、持続可能なエネルギーのある将来の実現に向けて必要となる今後の方針と対応についての正しい情報が一般大衆に提供されることが必須である。